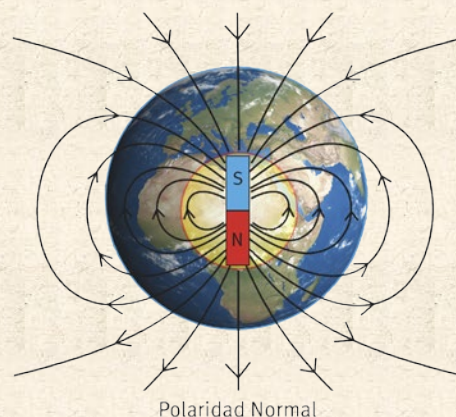


# LA GEOLOGÍA ES NOTICIA

¿CUÁNTO DURA UNA INVERSIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE?

## Nuevos datos de la última inversión del campo magnético terrestre

Leonardo Sagnotti \_ (pag. 188)



Luis Alcalá, Rafael Royo -Torres y Alberto Cobos

*ARAGOSAURUS ISCHIATICUS*

## El nuevo DNI del primer dinosaurio definido en España

(pag. 191)

EN LAS CRUCES (SEVILLA)

## Los organismos extremófilos forman una mineralización única

Fernando Tornos, Francisco Velasco, Antonio Delgado, César Menor-Salván, J. M. Escobar y Carmelo Gómez \_ (pag. 195)



¿CUÁNTO DURA UNA INVERSIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE?

# Nuevos datos de la última inversión del campo magnético terrestre

LEONARDO SAGNOTTI

*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia,  
I-00143 Roma, Italy*

El campo magnético terrestre (o campo geomagnético) está generado por el movimiento complejo que tiene lugar en el núcleo externo de la Tierra. En su mayor parte, este campo es asimilable al que generaría una barra de imán situada en el centro del planeta. La prolongación de este dipolo magnético “ideal” interseca con la superficie terrestre en dos puntos que definen los denominados polos geomagnéticos, cuya posición varía lentamente (variación secular). En tiempos geológicos el campo geomagnético puede considerarse como un campo puramente dipolar, donde en eje del dipolo coincide aproximadamente con el eje de rotación de la Tierra, y donde la inclinación de las líneas de fuerza aumenta progresivamente del ecuador

hasta el polo. En un periodo de polaridad normal, en el que vivimos actualmente, estas líneas de fuerza se dirigen hacia el centro de la Tierra en el hemisferio norte y salen de la superficie en el hemisferio sur (Fig. 1a). Los estudios de paleomagnetismo, que se basan en el análisis del magnetismo fósil de las rocas, nos indican que el campo geomagnético puede ser también estable con una configuración inversa (Fig. 1b), y que a lo largo del tiempo geológico se han sucedido repetidamente periodos con estas dos polaridades. Al contrario que en el Sol, donde el campo magnético se invierte regularmente más o menos cada 11 años (ciclo solar), las inversiones del campo geomagnético son irregulares y mucho menos frecuentes. Se han documentado 21 inversiones geomagnéticas durante los últimos 5,3 millones de años (Fig. 1c), lo que implica que durante este periodo de tiempo, de media, se ha producido una inversión cada aproximadamente 250.000 años. El mecanismo que causa estas

inversiones todavía se desconoce. Einstein consideraba que la comprensión del mecanismo que genera y gobierna la dinámica del campo geomagnético es uno de los desafíos no resueltos más importantes de la física.

La investigación sistemática de las inversiones de polaridad han permitido reconstruir una escala temporal global de polaridad geomagnética (Fig. 1c), que fue fundamental en los años 60 del s. XX para confirmar la expansión del fondo oceánico y para el desarrollo de la teoría de la tectónica de placas. Se sabe que la última inversión completa del campo geomagnético se remonta a hace 780.000 años, y define el límite entre el Pleistoceno inferior y medio. En la terminología estratigráfica, se utiliza el término de cron magnético para el intervalo temporal que tiene un predominio de polaridad normal o inversa. Los cronos magnéticos tie-

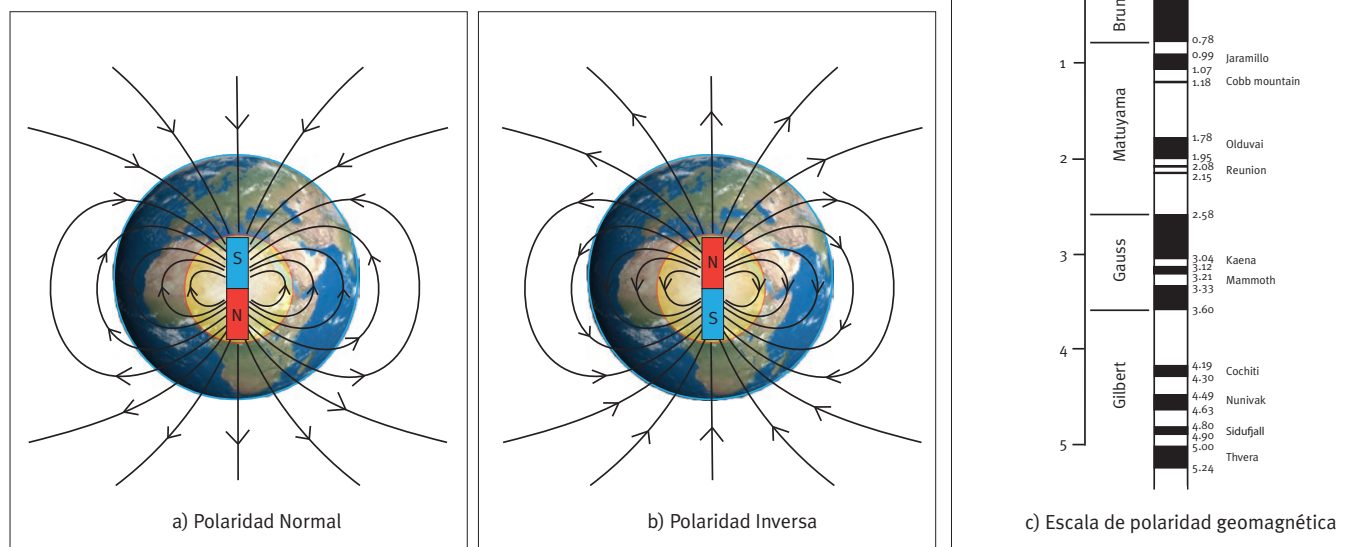


Fig. 1: Representación esquemática de la línea de fuerza del campo geomagnético dipolar durante un periodo de polaridad normal (a) e inversa (b). c) Escala temporal de la polaridad geomagnética para los últimos 5,3 millones de años. Negro: polaridad normal; blanco: polaridad inversa.



nen una duración típica del orden de centenares de miles de años y pueden contener intervalos de tiempo más breves con polaridad opuesta. Estos intervalos, con una duración típica del orden de la decena de miles de años, reciben el nombre de subcrones magnéticos (Fig. 1c). Actualmente vivimos en el cron de polaridad normal “Brunhes”, en homenaje al científico francés que durante los primeros años del siglo XX descubrió la presencia de lava magnetizada con una dirección inversa a la del campo geomagnético actual. El cron anterior, de polaridad inversa, se llama “Matuyama”, como homenaje al científico japonés que en 1929 puso de manifiesto que lavas de polaridad magnética normal e inversa formaban niveles estratigráficos diferentes. El último cambio completo de polaridad geomagnética se conoce, por tanto, como tránsito Matuyama-Brunhes (M-B). Se conoce que los cambios de polaridad del campo geomagnético son fenómenos muy rápidos desde un punto de vista geológico, con una duración total estimada del orden de algunos miles de años, durante los que el campo disminuye su intensidad hasta un 10% de su valor actual. El registro de un cambio de polaridad geomagnética en una secuencia rocosa es un fenómeno bastante raro. Para que se pueda extraer información útil sobre las características de detalle y la dinámica del campo magnético terrestre durante un cambio de polaridad es necesario disponer de una secuencia de rocas con una alta resolución temporal, que no suele ser común, y que haya registrado fielmente las variaciones del campo en el momento de su formación. Para esto es necesario una secuencia rocosa (sedimentaria o lávica) que tenga: (1) buenas propiedades paleomagnéticas, (2) buena continuidad estratigráfica, y (3) posibilidad de datar con alta resolución. Estas tres características, en su conjunto, son necesarias e indispensables para tratar de comprender y reconstruir la dinámica de un fenómeno complejo y de una duración muy breve. Una síntesis reciente de los diez mejores registros paleomagnéticos de varias

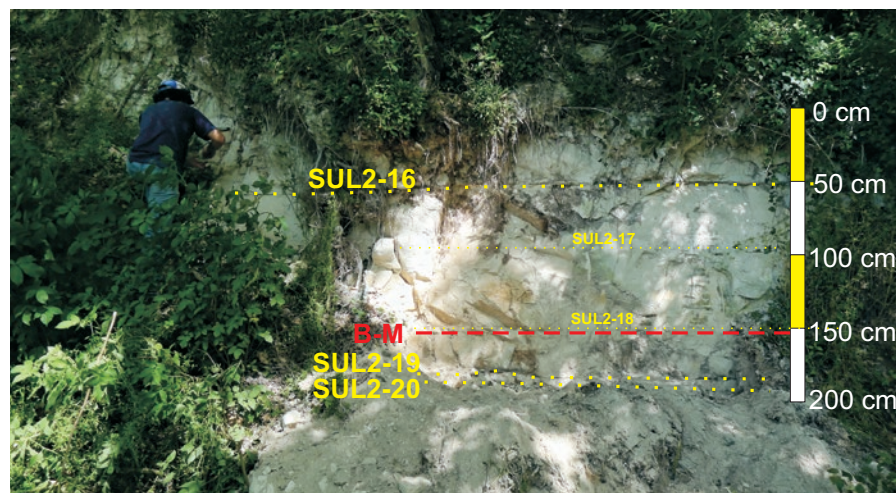


Fig. 2: Sección estratigráfica en afloramiento que comprende el registro de la inversión geomagnética Brunhes-Matuyama (M-B). La sección tiene un espesor de 3 metros, y está constituida por sedimentos calcáreos lacustres, con buenas propiedades paleomagnéticas, y tiene siete niveles finos (de milimétricos a centimétricos) de ceniza volcánica que han permitido dataciones radiométricas de alta precisión.

inversiones del campo magnético terrestre, obtenidas en varias secuencias de rocas volcánicas del planeta, ha puesto de manifiesto que las inversiones geomagnéticas tienen unas características dinámicas en común, que implican la existencia de un “precursor” (un intento previo fallido para invertir la polaridad) que se desarrolla unos cuantos de miles de años antes de la inversión definitiva, y de un tránsito rápido del polo geomagnético de una zona polar a la otra (Valet et al., 2012).

Las cuencas intramontañas de los Apeninos (Italia) son áreas de gran interés para la geología y la geofísica. El relleno de estas cuencas, con sucesiones de sedimentos continentales y lacustres, es testimonio de eventos geológicos y climáticos del pasado. El interés local y regional

de estas sucesiones sedimentarias puede a veces extenderse para la reconstrucción de eventos geofísicos a escala global. Éste es el caso de los sedimentos acumulados en el fondo de un antiguo lago desarrollado en la cuenca intramontañosa de Sulmona (Abruzzo) que afloran actualmente cerca del pueblo de Popoli, y que han proporcionado un magnífico registro detallado de la última inversión del campo magnético terrestre.

La sucesión lacustre de la cuenca de Sulmona está constituida por limos calcáreos homogéneos que contienen numerosos niveles finos de ceniza volcánica emitida durante erupciones explosivas violentas a lo largo de la vertiente tirrena de la península italiana. Una revisión estratigráfica reciente indica que la parte más antigua de esta sucesión se ha

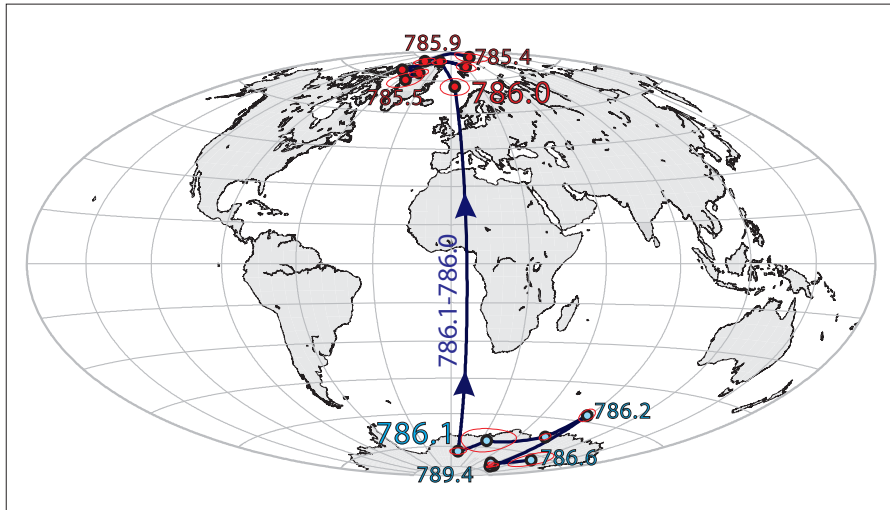


Fig. 3: Reconstrucción del recorrido del polo geomagnético virtual (VGP) durante la última inversión de polaridad del campo geomagnético, a partir de datos paleomagnéticos obtenidos en la cuenca de Sulmona (modificada de Sagnotti et al., 2014).

del polo geomagnético de un área polar a la otra ocurrió hace 786.000 años y fue precedido de un intervalo de inestabilidad general del campo que se prolongó durante el menos 6.000 años. Este periodo de inestabilidad geomagnética se ha caracterizado por dos intervalos de tiempo, con una duración de aproximadamente 2.000 años cada uno, en los que la intensidad del campo disminuyó drásticamente a menos de la mitad de la que hay actualmente. La inversión brusca del polo ocurre hacia la parte final del intervalo más reciente de baja intensidad del campo. En definitiva, en los sedimentos lacustres de Sulmona (inversión M-B) se han reconocido las principales características dinámicas de las inversiones, puestas de manifiesto por Valet et al. (2012): presencia de un precursor, fuerte descenso de la intensidad y rápido tránsito de la polaridad. Sin embargo, mientras que Valet y colaboradores han estimado que el tránsito del polo geomagnético de una región polar a la otra se desarrolla en menos de un milenio, esta investigación llevada a cabo en los sedimentos lacustres de Sulmona permite refinar este cálculo y nos indica que el tránsito pudo producirse en menos de un siglo, probablemente mucho menos, en un periodo de tiempo comparable al de una vida humana. ●

depositado a caballo de la inversión M-B (Giaccio et al., 2013). Los datos paleomagnéticos obtenidos en un sondeo efectuado en el depocentro de la cuenca han permitido reconocer la presencia de esta inversión. El intervalo a caballo de esta inversión geomagnética ha sido observado en afloramiento (Fig. 2), y ha sido analizado con un muestreo continuo y medidas de alta resolución en laboratorio. La investigación ha sido llevada a cabo por un equipo internacional de investigadores del Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, Italia), del Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG-CNR, Italia), de la Columbia University (USA), del Berkeley Geochronology Center (USA) y del Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE, CEA-CNRS, Francia). Los resultados obtenidos se han publicado en el número de noviembre de 2014 del *Geophysical Journal International* (Sagnotti et al., 2014).

La sucesión estratigráfica de Sulmona tiene las características ideales para proporcionar nuevos datos experimentales de alta resolución que permitan reconstruir las variaciones y las tasas de cambio del campo magnético terrestre durante los miles de años que dura la última inversión geomagnética. De hecho, esta sucesión de caracteriza por: (1) la presencia contemporánea de sedimentos homogéneos con una continuidad

estratigráfica contrastada, (2) buenas propiedades paleomagnéticas, y (3) niveles finos volcánicos que permiten dataciones radiométricas muy precisas para el control temporal del fenómeno. No es sencillo encontrar situaciones análogas favorables de otros registros de inversiones geomagnéticas. Este estudio llevado a cabo en la cuenca lacustre de Sulmona ha proporcionado un registro detallado de la variación temporal del campo magnético terrestre durante la inversión M-B. El registro de esta inversión está comprendido entre los niveles de ceniza datados en 781.000 y 792.000 años, y está contenido en limos calcáreos que se depositaron en el fondo del lago con una tasa media de cerca de 2 cm por siglo. La integración de los datos paleomagnéticos y geocronológicos ha permitido la reconstrucción de alta resolución de la dinámica del campo magnético terrestre durante los miles de años anteriores y posteriores a la inversión del polo, poniendo en evidencia que la inversión de polaridad M-B fue extremadamente rápida, puesto que se ha producido en un intervalo de tiempo más breve del que es posible estimar en este sedimento, con una velocidad al menos diez veces más rápida de lo que se pensaba anteriormente. La inversión del polo magnético parece producirse instantáneamente, sin registro de posición polar intermedia (Fig. 3). Estos nuevos datos indican que el paso brusco

### Bibliografía

Giaccio B., Castorina, F., Noma-de, S., Scardia, G., Voltaggio, M. y Sagnotti, L. (2013). Revised chronology of the Sulmona lacustrine succession, central Italy. *Journal of Quaternary Science*, 28(6), 545-551. doi: 10.1002/jqs.2647.

Sagnotti, L., Scardia, G., Giaccio, B., Liddicoat, J.C., Nomade, S., Renne, P.R. y Sprain, C.J. (2014). Extremely rapid directional change during Matuyama-Brunhes geomagnetic polarity reversal. *Geophysical Journal International*, 199 (2), 1110-1124. doi: 10.1093/gji/ggu287

Valet, J.P., Fournier, A., Courtillot, V. y Herrero-Bervera, E. (2012). Dynamical similarity of geomagnetic field reversals. *Nature*, 490, 89-94.